

文章编号:1008-1534(2014)01-0078-05

# 小型污水源热泵系统运行实验研究

王建辉,刘自强,刘伟,周泉,彭国辉

(河北省科学院能源研究所,河北石家庄 050081)

**摘要:**介绍了小型污水源热泵系统实验装置在冬季供暖运行和夏季制冷运行实验情况,测试了运行工作时实验系统的 COP、污水温度变化情况、室内外温度变化情况和冷凝器和蒸发器进出口温度变化情况以及其他各种参数。实验结果表明,该小型污水源热泵系统具有较高的 COP 和良好的使用性能,节能效果十分显著。

**关键词:**污水源;热泵;COP

中图分类号:TU831 文献标志码:A doi: 10.7535/hbgykj.2014yx0118

## Experimental research on small-sized sewage source heat pumps

WANG Jianhui, LIU Ziqiang, LIU Wei, ZHOU Quan, PENG Guohui

(Institute of Energy Resources, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

**Abstract:** The experimental result of small-sized sewage source heat pump system running in winter or summer was introduced, and the COP, sewage temperatures, indoor and outdoor temperatures, condenser and evaporator temperature changes were tested. Experimental results show that the experimental system has a good performance of high COP, as well as energy-saving efficiency.

**Key words:** sewage source; heat pump; COP

近年来能源短缺,国家鼓励节能减排技术和清洁能源的发展,地源热泵的发展也就得到政府的大力支持,并在政策上给予了一定的优惠条件。因此地源热泵较前几年的发展速度非常迅猛。目前地源热泵技术已经成为供暖制冷领域利用可再生能源实现高效、节能、环保的主要技术手段。

在城市中应用土壤源热泵和水源热泵具有一定的局限性,在城市中,建筑物密集,空闲土地面积有

限,土壤源热泵占地面积大,应用土壤源热泵受土地面积限制;华北地区属于地下水资源严重匮乏地区,水源热泵需采地下水,并且存在着水回灌的问题,应用水源热泵受水源条件限制。这些都限制了热泵技术的推广应用。因此,需要为热泵系统寻找一个可靠、性能优异的冷热源。而在城市里每天都有大量生活污水、工业废水的排放。比较空气、土壤、地下水、地表水而言,城市原生污水具有比热容大,导热系数大,无需打井和回灌,冬夏温度适宜等优点。城市污水是一种可再生性清洁冷热源,对建筑物供暖空调有重要意义。城市原生污水源热泵的应用和推广已经受到了社会各界的高度重视<sup>[1-8]</sup>。

## 1 污水源热泵技术原理及热源特点

### 1.1 污水源热泵技术原理

污水源热泵就是以城市污水作为冬季供热的热

收稿日期:2013-08-20;修回日期:2013-10-08

责任编辑:李穆

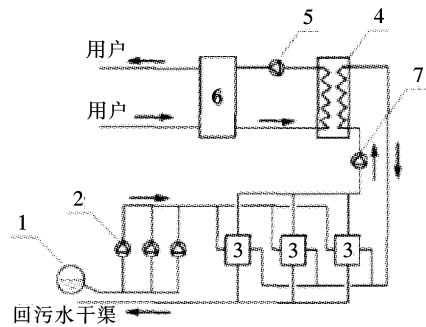
作者简介:王建辉(1977-),男,河北唐山人,工程师,主要从事可再生能源利用技术的研究和开发工作。

E-mail: nyswjh@sohu.com

王建辉,刘自强,刘伟,等.小型污水源热泵系统运行实验研究[J].河北工业科技,2014,31(1):78-82.

WANG Jianhui, LIU Ziqiang, LIU Wei, et al. Experimental research on small-sized sewage source heat pumps[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2014, 31(1): 78-82.

源,通过电驱动的压缩机把污水的低温热能转变为更高品位的热能供给用户<sup>[9]</sup>。夏季时作为制冷的冷源,通过制冷循环制取低温以满足用户制冷空调的需求。这种装置既可用作供热采暖设备,又可用作制冷降温设备,从而实现一机两用,其流程图见图 1<sup>[10]</sup>。



1—污水干渠;2—一级污水泵;3—滤面水力连续自清装置;4—污水-中介水换热器;5—中介水泵;6—热泵机组;7—二级污水泵

图 1 污水源热泵空调系统示意图

Fig. 1 Sewage-source heat pump air conditioning system diagram

## 1.2 污水源热泵热源的特点

热泵的技术状况和经济性与热源的特点密切相关,在大多数情况下,热源的性质是决定其使用和整体性能的关键。

城市污水全年保持相对较高且稳定的温度,而且具有以下特点:1)流量大且全年流量稳定;2)夏季温度低于室外温度,冬季高于室外温度,而且在整个供暖季和供冷季,水温波动不大。根据长期测量的数据显示,冬季污水水温为 13.5~16.5℃,高出气温 15℃左右;夏季污水水温为 22~25℃,又比气温低约 10℃,如图 2 所示。

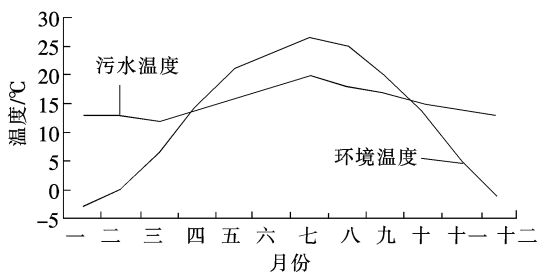


图 2 污水水温与环境温度比较

Fig. 2 Comparison of effluent water temperature and ambient temperature

## 2 实验系统

设计制作的小型污水源热泵系统,利用河北省科学院内的地下污水管道中排放的生活污水作为热泵系统的空调冷热源。

该小型污水源热泵实验系统主要包括:抛管式污水源换热器闭式循环系统、涡旋压缩机热泵机组、空调末端循环系统。污水源为科学院污水排放管道内污水,水量大概为 3~4 t/h,水温在 15~25℃范围内,污水源换热器闭式循环系统以水为循环介质,采用高密度聚乙烯塑料管(HDPE)U型管状换热器,直径为 32 mm,长度为 100 m。热泵机组是以 R22 作为制冷剂,采用全封闭涡旋压缩机。空调末端为风机盘管系统,空调面积约为 80 m<sup>2</sup>。

在整个系统循环管路中安装了温度传感器、流量传感器、电功率测量表等测量仪表,利用计算机板和计算机系统连接起来。制作了污水源热泵测试软件,建立了系统数据采集系统。基于 FIX 数据采集软件进行了二次开发。可以实时显示各点的温度,同时可以就不同运行情况下的系统运行效率(COP)进行显示。

## 3 实验数据分析

### 3.1 系统冬季供暖运行实验

#### 3.1.1 冬季供暖运行实验数据

污水源热泵系统制热供暖工况实验正式开始于 2009 年 1 月 10 日 8:00,连续运行到 1 月 12 日 8:00,共计 48 h。实验系统室外循环系统(污水源换热器闭式循环系统与机组之间的循环介质)流量 1.27 t/h,室内循环系统(空调末端与机组之间的循环介质)流量 1.47 t/h。在实验过程中,详细记录了污水源热泵系统冬季运行实验期间的污水温度场的变化、冷凝器进出水温度、机组和系统 COP 数据、室内外温度情况等实验数据,并绘出曲线图见图 3。



图 3 污水温度

Fig3 Effluent water temperature

由图 3 可以看到,在冬季,污水管道内的污水温度在 15~17℃范围内,而环境平均温度在 0℃左右,是一个优良的空调热源。

由图 4、图 5 可以看出,污水源热泵系统的蒸发器和冷凝器进出口温度差都很大,其中污水源热泵系统的蒸发器的温度差达到 5℃以上,说明以污水作为热泵系统冬季制冷工况的热源,换热效果非常

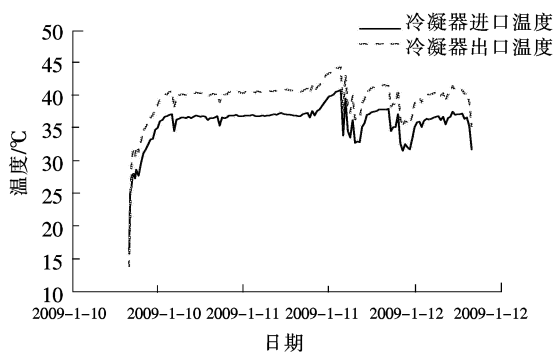


图 4 冷凝器进出口温度

Fig. 4 Condenser temperature of inlet and outlet

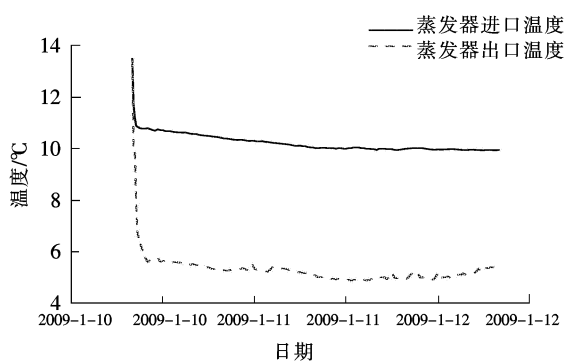


图 5 蒸发器进出口温度

Fig. 5 Evaporator temperature of inlet and outlet

好,热泵系统可以从污水中吸取更多的热量,从而减少热泵机组做功,使热泵机组和系统的 COP 得到有效的提高。

由图 6 可以看出污水源热泵机组在冬季供暖运行时 COP 值比较高,机组 COP 最高达到 7.39,最低为 5.71,其余均稳定在 6~7 之间,由于热源温度比较稳定,所以不存在随着运行时间的增加,COP 逐渐下降的情况。整个污水源热泵系统的 COP 最高达到 5.97,最低为 4.74,其余均稳定在 5.0~5.5 之间,说明整个污水源热泵系统工作比较稳定,供暖运行性能效果很好。

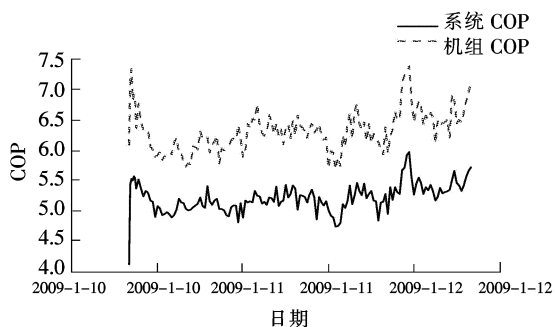


图 6 污水源热泵机组和系统 COP

Fig. 6 Sewage-source heat pump and system COP

由图 7 可以看出,在污水源热泵系统冬季制热工况实验中,污水源热泵系统制热效果很好,在冬季寒冷的气候下,室外温度为 0℃左右,而室内温度能够达到 24~26℃,说明污水源热泵系统的冬季制热工况运行十分良好,能够满足冬季制热采暖的要求。

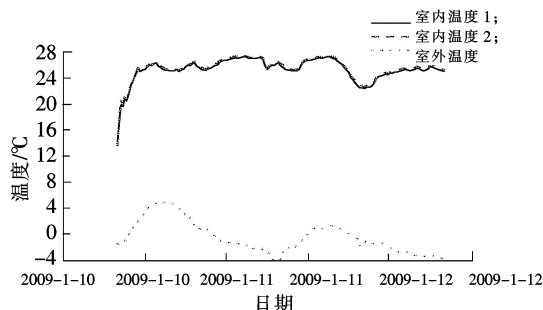


图 7 室内外温度

Fig. 7 Indoor and outdoor temperature

### 3.1.2 冬季运行实验结果分析

1) 污水源热泵系统在冬季运行可以达到很好的供热效果和较高的能效比。

2) 污水源热泵系统连续运行时,系统运行稳定,污水的温度也很稳定,系统的能效比也比较恒定,说明在污水源热泵系统冬季制热采暖运行工况中,污水是热泵系统的一个很优异的空调热源。

3) 在污水源热泵系统冬季制热采暖运行中,污水源热泵系统的蒸发器和冷凝器进出口温度差都很大,其中蒸发器的温度差达到 5℃以上,说明以污水作为热泵系统冬季制热工况的热源,换热效果非常好,热泵系统可以从污水中吸取更多的热量,从而减少热泵机组做功,使热泵机组和系统的 COP 得到有效的提高。

4) 污水源热泵机组在冬季供暖运行时 COP 值比较高,机组 COP 最高达到 7.39,最低为 5.71,其余均稳定在 6~7 之间,整个污水源热泵系统的 COP 最高达到 5.97,最低为 4.74,其余均稳定在 5.0~5.5 之间。

## 3.2 系统夏季空调运行实验

### 3.2.1 夏季空调运行实验数据

污水源热泵系统制冷工况实验于 2009 年 5 月底开始进行,实验系统冷却水(污废水源换热器闭式循环系统与机组之间的循环介质)流量为 1.27 t/h,冷冻水(空调末端与机组之间的循环介质)流量为 1.47 t/h。在实验过程中,详细记录了污水源热泵系统夏季运行实验期间的污水温度场的变化、冷凝器进出水温度、机组和系统 COP 数据、室内外温度情况等实验数据,并选取 2009 年 6 月 5 日 21:30 至 2009 年 6 月 8 日 7:00 间共计 57.5 h 的实

验数据,绘出曲线图见图 8。

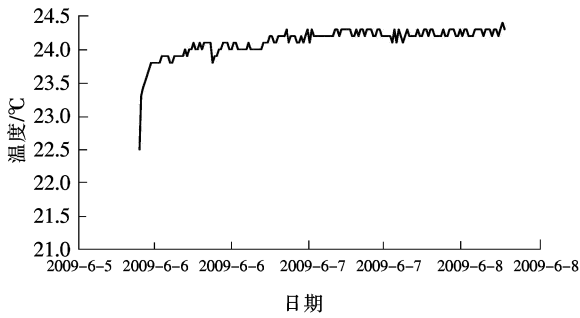


图 8 污水温度变化情况

Fig. 8 Waste water temperature changes

由图 8 可知,在夏季污水源热泵系统制冷工况运行过程中,污水管道内的污水温度稳定在 24 °C 左右,而环境温度在 30 °C 左右,污水是热泵系统空调制冷的一个优良的冷源。

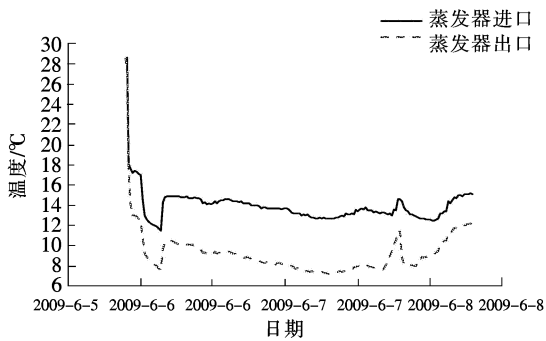


图 9 蒸发器进出口温度

Fig. 9 Evaporator temperature of inlet and outlet

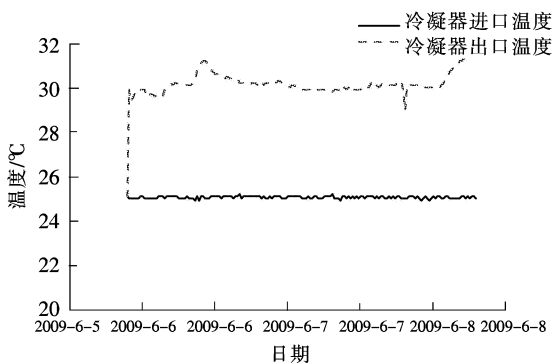


图 10 冷凝器进出口温度

Fig. 10 Condenser temperature of inlet and outlet

由图 9、图 10 可以看出,污水源热泵系统的蒸发器和冷凝器进出口温度差都很大,其中冷凝器的进出口温度差达到 5 °C 以上,温差最高达到 6.4 °C,说明以污水作为热泵系统夏季制冷工况的冷源,换热效果非常好,热泵系统可以向污水中放出更多的热量,从而减少热泵机组做功,使热泵机组和系统的

COP 得到有效的提高。

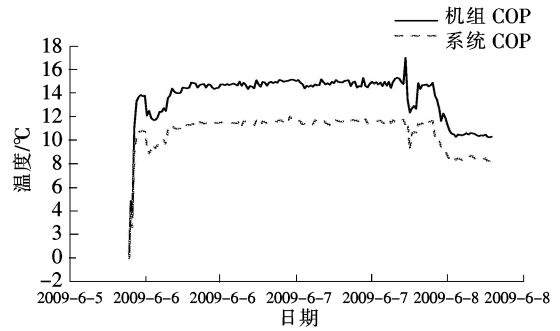


图 11 地源热泵机组和系统 COP

Fig. 11 Ground-source heat pump and system COP

由图 11 可以看出污水源热泵机组在夏季制冷工况运行时的 COP 值很高,机组 COP 和系统 COP 分别为 13 以上和 10 以上。随着运行时间的增加,机组输入功率逐渐增大,而制冷量、放热量则逐渐变小,所以机组 COP 逐渐下降,但是机组 COP 和系统 COP 分别保持在 10 和 8 以上。具有很高的热效率。

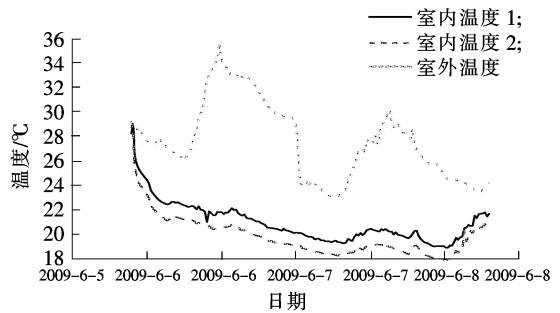


图 12 室内外温度

Fig. 12 Indoor and outdoor temperature

由图 12 可以看出,在污水源热泵系统夏季制冷工况实验中,污水源热泵系统空调制冷效果很好,在夏季炎热的气候下,室外温度最高达到 35 °C 以上,而室内温度始终保持在 18~22 °C,说明污水源热泵系统的夏季制冷工况运行十分良好,能够满足夏季制冷的要求。

### 3.2.2 夏季运行实验结果分析

1) 污水源热泵系统在夏季运行可以达到很好的制冷效果和较高的能效比。

2) 污水源热泵系统连续运行时,系统运行稳定,污水的温度也很稳定,系统的能效比也比较恒定,说明在污水源热泵系统夏季空调制冷运行工况中,污水是热泵系统的一个很优异的空调冷源。

3) 在污水源热泵系统夏季空调制冷运行中,污水源热泵系统的蒸发器和冷凝器进出口温度差都很大,其中冷凝器的温度差达到 5 °C 以上,说明以污水

作为热泵系统夏季空调制冷工况的冷源,换热效果非常好,热泵系统可以向污水中放出更多的热量,从而减少热泵机组做功,使热泵机组和系统的 COP 得到有效的提高。

4) 污水源热泵机组在夏季空调制冷运行时 COP 值很高,机组 COP 和系统 COP 分别为 13 以上和 10 以上。随着运行时间的增加,机组输入功率逐渐增大,而制冷量、放热量则逐渐变小,所以机组 COP 逐渐下降,但是机组 COP 和系统 COP 分别保持在 10 和 8 以上,具有很高的热效率。

#### 4 结 语

由污水源热泵系统在冬季制热工况实验和夏季制冷工况实验工作结果可以得出如下结论。

1) 城市污水冬夏水温适宜,是热泵系统的理想低位热源。冬季运行可以减轻燃煤供暖引起的环境问题,夏季运行可以缓解电力空调负荷的紧张问题。

2) 应用与发展污水源热泵是改变大城市以煤为主的能源消费结构现状的有效途径,为可再生能源的应用与发展拓展了新的空间,具有长远的战略意义。

3) 污水水质及水温是影响污水源热泵机组运行的主要因素,解决好污水换热器表面污垢、阻塞、腐蚀等问题是污水源热泵系统设计的关键。本文设计的污废水源换热器闭式循环系统采用高密度聚乙烯塑料管(HDPE)U型管状换热器,并且为抛管式结构。可以有效缓解污水对换热器的腐蚀等问题。

4) 城市污水处理厂利用污水热泵技术建立大型热泵供热站,可以作为发展城市集中供热、供冷的补充<sup>[10]</sup>。

5) 采用污水源热泵空调系统既可实现夏季供冷,又可实现冬季供热,而不用设置锅炉房和冷却塔,节省大量的机房面积,减少了对环境的污染。通过技术经济分析,得出制冷时污水源热泵的 COP 值最大,运行成本最低,冬季供暖时,污水源热泵的运行成本比采用其他供暖方式要低。

#### 参考文献/References:

[1] 李建兴,涂光备,周文忠. 城市污水热泵在住宅供热中的应用[J]. 流体机械,2004, 32(9):65-68.  
LI Jianxing, TU Guangbei, ZHOU Wenzhong. Prospect of waste-water heat pump in residential heating system[J]. Fluid

Machinery, 2004, 32(9): 65-68.

- [2] 吴荣华,孙德兴,张成虎,等. 城市污水源热泵的应用与研究现状[J]. 哈尔滨工业大学学报,2006, 38(8):1326-1329.  
WU Ronghua, SUN Dexing, ZHANG Chenghu, et al. Application and progress of urban wastewater as a cool and heat source[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(8): 1326-1329.
- [3] 吴荣华,张承虎,孙德兴. 城市原生污水与其他冷热源的比较研究[J]. 暖通空调,2006, 36(1):43-46.  
WU Ronghua, ZHANG Chenghu, SUN Dexing. Comparative study of urban wastewater and other cold and heat sources[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2006, 36(1): 43-46.
- [4] 韩丰云,王铁军,刘杰. 污水源热泵热能经济技术分析[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2008, 31(3):352-355.  
HAN Fengyun, WANG Tiejun, LIU Jie. Cost-effectiveness analysis of sewage source heat pump[J]. Journal of Hefei University of Technology:Natural Science, 2008, 31(3): 352-355.
- [5] 侯亚芹,司建伟. 污水源热泵的研究进展[J]. 建筑节能,2010, 38(10):32-33.  
HOU Yaqin, SI Jianwei. Development of sewage source heat pump [J]. Construction Conserves Energy, 2010, 38(10):32-33.
- [6] 庄兆意,徐莹,李鑫,等. 污水源热泵机组冬季运行工况实测与分析[J]. 暖通空调,2008, 38(11):133-136.  
ZHUANG Zhaoyi, XU Ying, LI Xin, et al. Measurement and analysis of operating conditions of sewage source heat pump units in winter[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2008, 38(11): 133-136.
- [7] 吴学慧,孙德兴. 城市原生污水源热泵经济性分析[J]. 暖通空调,2007, 37(11):36-39.  
WU Xuehui, SUN Dexing. Economic analysis of urban untreated sewage source heat pumps[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2007, 37(11): 36-39.
- [8] 吴荣华,孙德兴,马广兴. 城市原生污水冷热源水参数特性与应用方法评价[J]. 可再生能源,2005(5):39-43.  
WU Ronghua, SUN Dexing, MA Guangxing. The parameters characteristics on the urban sewage as a cold and heat source and the evaluation on application methods [J]. Renewable Energy, 2005(5): 39-43.
- [9] 付红春,杜垠. 污水源热泵系统的技术经济分析[J]. 制冷技术,2007(3):11-14.  
FU Hongchun, DU Kai. Economic and technical analysis of sewage source heat pump system[J]. Refrigeration Technology, 2007(3): 11-14.
- [10] 李建兴,池勇志. 污水处理厂采用热泵技术实现区域供冷供热的探讨[J]. 给水排水动态,2005, 4(5):32-34.  
LI Jianxing, CHI Yongzhi. Feasibility of realizing DHC using heat pump in WWTP[J]. China Construction Heating & Refrigeration, 2005, 4(5): 32-34.